

طرح زهکشی تکیه‌گاه نفوذپذیر سدهای خاکی

دکتر ابوالفضل شمسایی

استاد دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی شریف

تورج سبزواری

کارشناس ارشد مهندسی عمران، مهندسی آب - دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

در طرح سدهای خاکی، ممکن است تکیه‌گاه سد، تپه‌ای با نفوذپذیری بالا باشد. حرکت آب از میان تکیه‌گاه سد، متأثر از سطح آب مخزن صورت می‌پذیرد. تراوش بیش از حد مجاز از تکیه‌گاه ممکن است پایداری تکیه‌گاه را با خطر جدی مواجه کند. محاسبه دبی عبوری از تکیه‌گاه سد از مسائل مهم در طراحی خصوصیات زهکش تکیه‌گاه می‌باشد.

برای زهکشی تکیه‌گاه نفوذپذیر سدهای خاکی می‌توان از زهکش لوله‌ای و یا کانال زهکش (پرسده از مصالح زهکشی) در محل مناسبی در شیب پایین دست تکیه‌گاه استفاده نمود. در این تحقیق برای زهکشی تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک، از روش کانال زهکش در شیب پایین دست تکیه‌گاه استفاده شده است. برای تحلیل مسئله تراوش از تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک از دو نرم افزار MSEEP و GMS(SEEP2D) استفاده شده است. برای کاهش سطح تراوش در شیب پایین دست تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک و افزایش دبی عبوری از زهکش باید از کانال زهکشی به عرض ۲ متر و ارتفاع ۳ متر استفاده شود. بهترین محل برای اجرای کانال زهکش پایین‌ترین نقطه سطح تراوش می‌باشد.

کلمات کلیدی: زهکش، تراوش، تکیه‌گاه سدهای خاکی

۱- مقدمه

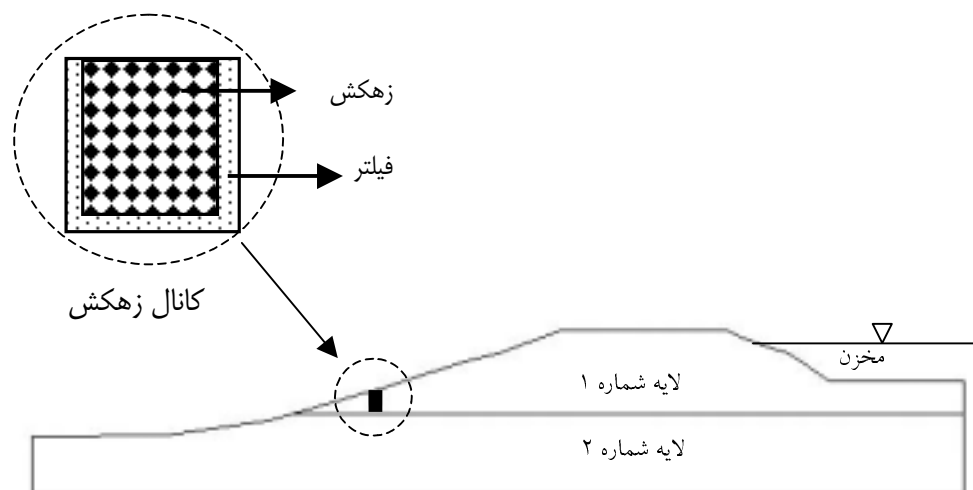
برای زهکشی تکیه‌گاه نفوذپذیر سدهای خاکی از روشهای مختلف زهکشی همچون تونلهای زهکش، چاههای زهکش و زهکشهای افقی می‌توان استفاده کرد. به طور کلی این روشها به علت شرایط محدود اجرایی مقرون به صرفه نبوده و کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند [5]. یکی از روشهای زهکشی تکیه‌گاه سدهای خاکی، استفاده از زهکشهای موضعی در شیب پایین دست تکیه‌گاه می‌باشد. این زهکشها به دو صورت لوله‌ای و کانال زهکش (پرسده از مصالح زهکشی) قابل اجرا می‌باشند.

برای اتصال زهکشها به خاک تکیه‌گاه سد از یک لایه فیلتر به ضخامت مناسب استفاده می‌شود. مهمترین پدیده‌ای که فیلترها و زهکشها را تهدید می‌کند، گرفتگی و مسدودشدگی^۱ آنها توسط ذرات ریز خاک می‌باشد [4,9]. به طور کلی فعل و انفعالات فیزیکی و بیولوژیکی که بین محیط فیلتر و خاک صورت می‌گیرد باعث گرفتگی فیلترها می‌گردد. این فعل و انفعالات موجب انتقال ذرات ریز خاک به داخل فیلتر شده و با ته نشین شدن این ذرات درحفرات فیلتر، ظرفیت زهکشی فیلترها کاهش می‌یابد [1]. زهکشهای لوله‌ای نیز بدلیل انسداد توسط ذرات ریز خاک و ریشه گیاهان، برای این منظور مناسب نیستند [8]. در این تحقیق نحوه طراحی کانال زهکش تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک از لحاظ دانه‌بندی فیلتر و زهکش، ابعاد مناسب، ظرفیت زهکشی، دبی عبوری از زهکشها و مکان زهکش در شیب پایین دست تکیه‌گاه مورد بررسی قرار گرفته است.

^۱ Clogging

۲- طرح زهکشی تکیه‌گاه نفوذپذیر سدهای خاکی

یکی از بهترین روشهای زهکشی تکیه‌گاه نفوذپذیر سدهای خاکی، استفاده از کانال زهکش (پر شده از مصالح زهکشی) در شیب پایین دست تکیه‌گاه می‌باشد. شکل کانال زهکش به شیب پایین دست تکیه‌گاه بستگی دارد و معمولاً به دو صورت دوزنقه‌ای و مستطیلی اجرا می‌شود. شکل (۱)، شکل و محل کانال زهکش شیب پایین دست تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک را نشان می‌دهد.



شکل (۱)- محل کانال زهکش در شیب پایین دست تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک

کانال زهکش نشان داده شده در شکل (۱)، شیب پایین دست تکیه‌گاه سد را زهکشی کرده و آب خروجی از آنها توسط زهکش دیگری در پایین دست تکیه‌گاه به رودخانه انتقال خواهد یافت.

۳- معرفی نرم افزارهای MSEP و GMS(SEEP2D)

برای محاسبه میزان تراوش و تعیین خصوصیات زهکش تکیه‌گاه نفوذپذیر سدهای خاکی باید از مدل عددی مناسب استفاده شود. شکل مقاطع تکیه‌گاه، تعداد لایه‌ها، ضریب هدایت هیدرولیکی هر لایه، نحوه المان بندی و شرایط مرزی حاکم بر تکیه‌گاه سد، پارامترهای معرفی شده برای مدل هستند. برای تعیین دبی عبوری از زهکشها باید بدترین شرایط تکیه‌گاه را به عنوان شرایط مرزی برای مدل تعریف کرد. این شرایط در حالتی که مخزن سد پر بوده و سطح آب در پایین دست تکیه‌گاه مینیمم باشد در نظر گرفته می‌شود. زهکشها باید در محل مناسبی بر روی سطح تراوش اجرا شوند تا عملکرد آنها به صورت بهینه باشد.

در این تحقیق برای محاسبه دبی عبوری از تکیه‌گاه، میزان سطح تراوش، تعیین سطح آزاد آب داخل تکیه‌گاه و ترسیم شبکه جریان داخل تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک از دو نرم افزار MSEP و GMS(SEEP2D) استفاده شده است. نرم افزارهای مزبور از جمله نرم افزارهای در دسترس هستند که معادلات حاکم بر حرکت آب در محیطهای متخلخل را به روش المانهای محدود حل می‌نمایند. برای تأیید جوابهای بدست آمده از دو نرم افزار از ارقام و اطلاعات گزارشات مربوط به بازدههای صورت گرفته از تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک استفاده شده است. با توجه به اینکه نسخه آزمایشی^۱ نرم افزار GMS(SEEP2D) در دسترس بود لذا برای تعیین ابعاد کانال زهکش و محل زهکش در شیب پایین دست تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک و تحلیل حساسیت از برنامه MSEP که در آن نحوه تعریف کانال زهکش و لایه‌های تکیه‌گاه، تغییر پارامترهای مدل (برای انجام تحلیل حساسیت) و سرعت محاسبات بالا بوده و به آسانی صورت می‌گرفت، استفاده بعمل آمد.

^۱ Trial Version

۴- محاسبه تراوش از تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک

در این تحقیق طرح زهکشی تکیه‌گاه چپ سد خاکی برنجستانک مورد بررسی قرار گرفته است. سد برنجستانک از نوع سدهای خاکی و با هسته رسی می‌باشد که در نزدیکی شهرستان قائم شهر در استان مازندران قرار دارد. تکیه‌گاه چپ سد خاکی برنجستانک بین سد و سریز سد قرار دارد که در شکل شماره (۲) نشان داده شده است. با توجه به ابعاد و خصوصیات تکیه‌گاه سد برنجستانک، برای مطالعه خصوصیات جریان در تکیه‌گاه، دو مقطع برای آن در نظر گرفته شده است. شکل این مقاطع و نحوه لایه‌بندی آنها بر اساس مطالعات ژئوتکنیک و گمانه‌های حفر شده در شکل (۳) و (۴) مشاهده می‌شود [3].

شکل (۲) - پلان سد و تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک

ضرایب هدایت هیدرولیکی لایه‌های مختلف تکیه‌گاه و عمق آنها برای هر مقطع در جدول شماره ۱ ارائه شده است [3].

جدول شماره ۱ - ضریب هدایت هیدرولیکی لایه‌های مختلف تکیه‌گاه سد برنجستانک

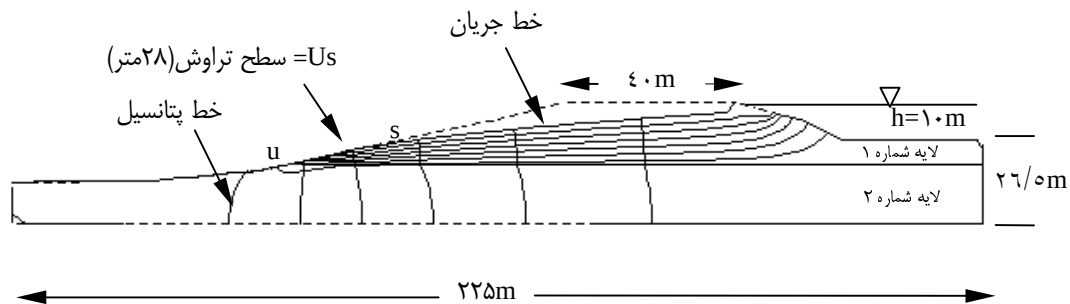
نسبت ضرایب هدایت هیدرولیکی	ضرایب هدایت هیدرولیکی لایه‌ها ($\frac{cm}{s}$)	عمق لایه‌ها (m)	شماره مقطع شماره لایه
$\frac{k_1}{k_2} = 22/5$	$k_1 = 4/5 \times 10^{-3}$	۰ ۲۰	مقطع ۱- لایه شماره ۱
	$k_2 = 2 \times 10^{-4}$	۲۰-۳۸/۵	مقطع ۱- لایه شماره ۲
$\frac{k_1}{k_2} = 22/5$	$k_1 = 4/5 \times 10^{-3}$	۰- ۲۰	مقطع ۲- لایه شماره ۱
	$k_2 = 2 \times 10^{-4}$	۲۰-۳۸/۶	مقطع ۲- لایه شماره ۲

مقدار دبی عبوری از مقاطع ۱ و ۲ تکیه‌گاه و سطح تراوش برای هر مقطع، توسط نرم افزارهای MSEEP و SEEP2D محاسبه شده است که در جدول شماره ۲ ارائه شده است [2].

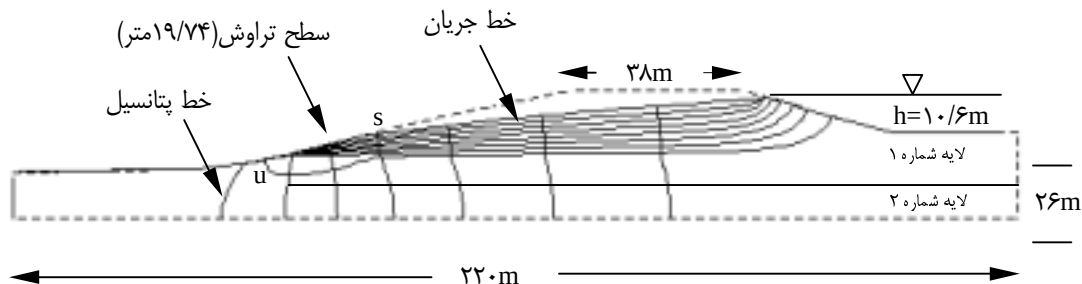
جدول شماره ۲ - محاسبه سطح تراوش و دبی عبوری از تکیه گاه سد خاکی برنجستانک

مقطع	سطح تراوش (m)	طول مؤثر (m)	سطح آب در بالادست تکیه گاه (m)	سطح آب در پایین دست تکیه گاه (m)	نشت محاسبه شده توسط برنامه SEEP2D $m^3/sec.m$	نشت محاسبه شده توسط برنامه MSEEP $m^3/sec.m$
۱	۲۸	۲۷	۱۰	۰	$۷/۳۳ \times ۱۰^{-۵}$	$۷/۰۸ \times ۱۰^{-۵}$
۲	۱۹/۷۴	۳۵/۵	۱۰/۶	۰	$۷/۷۹ \times ۱۰^{-۵}$	$۷/۲۹ \times ۱۰^{-۵}$
جمع	کل نشت محاسبه شده از تکیه گاه توسط نرم افزار MSEEP $m^3/sec = ۴/۵۰ \times ۱۰^{-۳}$ کل نشت محاسبه شده از تکیه گاه توسط نرم افزار SEEP2D $m^3/sec = ۴/۷۴ \times ۱۰^{-۳}$					

شبکه جریان برای مقاطع ۱ و ۲ تکیه گاه سد برنجستانک توسط نرم افزار MSEEP ترسیم شده است که در شکل‌های (۳) و (۴) مشاهده می‌شود.



شکل (۳) - شبکه جریان در مقطع شماره ۱ تکیه گاه چپ سد خاکی برنجستانک



شکل (۴) - شبکه جریان در مقطع شماره ۲ تکیه گاه چپ سد خاکی برنجستانک

با استفاده از نرم افزار MSEEP و SEEP2D دبی عبوری از تکیه گاه سد خاکی برنجستانک در حالتی که سطح آب در مخزن در حالت ماکزیمم باشد، حدود ۴/۵ لیتر بر ثانیه محاسبه گردیده است. همانطور که در شکل‌های (۳) و (۴) مشاهده می‌شود، کل شبکه جریان در لایه فوقانی تکیه گاه قرار دارد و این عامل باعث ایجاد یک سطح تراوش بزرگ در شیب پایین تکیه گاه شده است.

با توجه به بازدهیهای صورت گرفته از تکیه‌گاه سدخاکی برنجستانک، موارد زیر گزارش شده است:

- ۱- زمین‌های پایین دست تکیه‌گاه نسبت به شیب پایین دست آن خشک می‌باشند.
 - ۲- دبی خروجی از سطح تراوش ۴ تا ۶ لیتر بر ثانیه برآورد شده است.
- از مطالب بالا می‌توان نتیجه گرفت که جوابهای بدست آمده از برنامه MSEEP در تحلیل مسئله تراوش از تکیه‌گاه سد برنجستانک مناسب می‌باشد. در این تحقیق تأثیر ضریب هدایت هیدرولیکی لایه‌های مختلف تکیه‌گاه را برروی دبی عبوری از تکیه‌گاه و سطح تراوش مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج بدست آمده از آن در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

جدول شماره ۳ - تأثیر ضریب هدایت هیدرولیکی لایه‌های مختلف تکیه‌گاه برروی دبی عبوری و سطح تراوش

نام مقطع	ضریب هدایت هیدرولیکی لایه فوقانی $k_1(m/s)$	ضریب هدایت هیدرولیکی لایه تحتانی تکیه‌گاه $k_2(m/s)$	دبی عبوری از مقطع $m^3/s.m$	سطح تراوش (m)
مقطع ۱	$4/5 \times 10^{-5}$	2×10^{-6}	$7/33 \times 10^{-5}$	۲۸
مقطع ۲	$4/5 \times 10^{-5}$	2×10^{-6}	$7/79 \times 10^{-5}$	۱۹/۷۴
مقطع ۱	2×10^{-6}	2×10^{-6}	$0/81 \times 10^{-5}$	۶/۱
مقطع ۱	$4/5 \times 10^{-5}$	$4/5 \times 10^{-5}$	18×10^{-5}	۶/۱۹
مقطع ۱	2×10^{-6}	$4/5 \times 10^{-5}$	$8/29 \times 10^{-5}$	۰

از جدول شماره ۳ نتیجه می‌شود که ضریب هدایت هیدرولیکی لایه‌های مختلف تکیه‌گاه برروی دبی عبوری از سد و سطح تراوش تأثیر زیادی دارند. مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی لایه فوقانی تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک (لایه شماره ۱) به لایه تحتانی تکیه‌گاه (لایه شماره ۲) حدود ۲۲/۵ برابر می‌باشد. این پدیده باعث شده است تا یک سطح تراوش بسیار بزرگ برروی شیب پایین دست تکیه‌گاه ایجاد شود.

اگر ضریب هدایت هیدرولیکی لایه‌های تحتانی تکیه‌گاه نسبت به لایه‌های فوقانی آن زیاد باشد، سطح تراوش در لایه فوقانی بسیار کاهش می‌یابد. ضرایب هدایت هیدرولیکی لایه‌های تکیه‌گاه نوع سیستم زهکشی تکیه‌گاه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند.

۵- طرح زهکشی تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک

قبلاً برای زهکشی تکیه‌گاه چپ سد خاکی برنجستانک از روش لوله‌های زهکش استفاده شده است که بر اثر پدیده گرفتگی توسط ذرات ریز خاک کارایی خود را به طور کامل از دست داده است. در این تحقیق برای کنترل تراوش شیب پایین دست تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک از روش کانال‌های زهکش (پرسده از مصالح زهکشی) استفاده شده است. زهکش مربوطه باید در محل مناسبی برروی سطح تراوش اجرا شود تا کل دبی عبوری از این سطح را زهکشی کند و این سطح را به طور مناسب کاهش دهد. برای اتصال زهکش فوق به خاک تکیه‌گاه باید از یک لایه فیلتر به ضخامت مناسب استفاده شود.

۶- طرح دانه‌بندی فیلتر و زهکش تکیه‌گاه

خاک تکیه‌گاه سد برنجستانک از نوع رس لای دار همراه با ذرات ماسه‌ای با پلاستیسیته متوسط تا زیاد است و از لحاظ طبقه بندی از نوع CH و یا (ML, CH) می‌باشد. با توجه به منحنی دانه‌بندی خاک تکیه‌گاه (شکل ۵)، خاک مورد نظر از لحاظ طبقه‌بندی شرارد از نوع خاک شماره ۲ می‌باشد (۴۰ تا ۸۵ درصد مصالح ازالک ۲۰۰ عبور می‌کنند) [6,7].

شرارد برای خاکهای مزبور، معیار $D_{15\ filter} \leq 0.7mm$ را برای طراحی فیلتر پیشنهاد کرده است. با توجه به شرط نفوذپذیری فیلتر ($D_{15\ filter} > 0.1mm$)، معیار طراحی فیلتر زهکش به صورت $0.1 < D_{15\ filter} \leq 0.7mm$ در نظر گرفته شده است.

برای محاسبه دانه‌بندی زهکش می‌توان از معیارهای ترازقی نیز استفاده نمود، این معیارها عبارتند از:

$$\frac{D_{15Drain}}{d_{15Filter}} \geq 5 \Rightarrow D_{15Drain} \geq 3.5mm \quad (۱)$$

$$\frac{D_{15Drain}}{d_{85Filter}} < 5 \Rightarrow D_{15Drain} < 35mm \quad (۲)$$

با استفاده از معیارهای ترزاقی، دانه‌بندی مصالح زهکش در محدوده $3.5mm \leq D_{15Drain} < 35mm$ قرار می‌گیرد. با توجه به محدوده دانه‌بندی ارائه شده برای فیلتر وزهکش، مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی مجاز فیلتر و زهکش با توجه تحقیقات (Indraratna, 1996) [10] برروی فیلترها به صورت زیر محاسبه شده است:

$$0.0001 < K_{15filter} \left(\frac{m}{s} \right) \leq 0.002 \quad (۳)$$

$$0.05 \leq K_{15Drain} \left(\frac{m}{s} \right) < 4 \quad (۴)$$

شکل (۵) منحنی دانه‌بندی خاک، فیلتر وزهکش تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک را نشان می‌دهد.

شکل (۵) - منحنی دانه‌بندی خاک، فیلتر وزهکش تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک

۷- طرح کانال زهکش

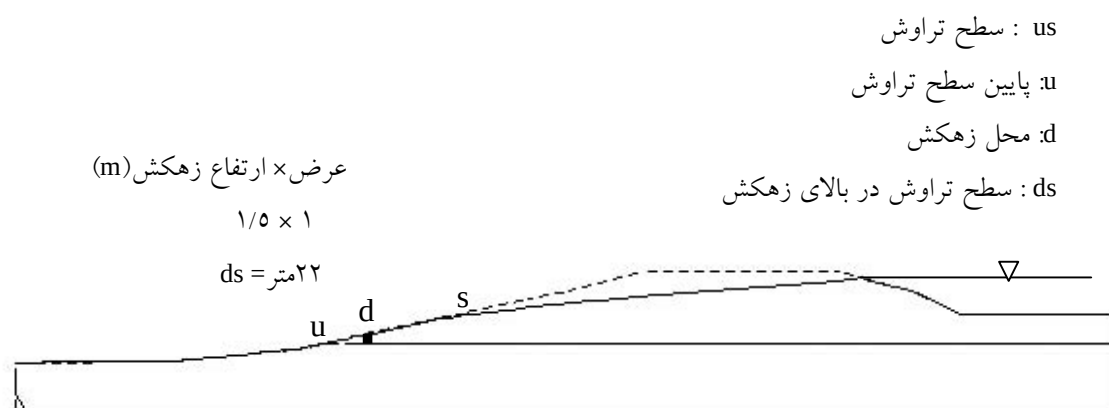
برای طراحی کانال زهکش ابتدا باید شکل، مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی و محل زهکش در شیب پایین دست تکیه‌گاه برای برنامه معرفی شود. محل زهکش باید در نقطه مناسبی برروی شیب پایین دست انتخاب شود تا بتواند سطح آزاد آب داخل تکیه‌گاه را به صورت مناسب پایین انداخته و سطح تراوش را در شیب پایین دست کاهش دهد.

هر چه زهکش را در ارتفاعات بالاتر شیب پایین دست تکیه‌گاه قرار دهیم، سطح تراوش افزایش یافته و دبی عبوری از زهکش کمتر خواهد شد. بهترین محل برای کانال زهکش پایین‌ترین نقطه سطح تراوش می‌باشد. سطح تراوش برای هر مقطع برای شرایطی که تکیه‌گاه فاقد زهکش است قبلاً محاسبه گردیده که در جدول شماره ۲ ارائه شده است. در این تحقیق تأثیر ابعاد کانال زهکش و محل زهکش برروی کاهش سطح تراوش و افزایش دبی عبوری از زهکش تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک توسط نرم افزار MSEEP مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از این بررسی برای مقطع شماره ۱ در جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

جدول شماره (۴) - نتایج بدست آمده از تأثیر ابعاد کانال زهکش و محل زهکش بر روی عملکرد زهکش

عرض زهکش (m)	ارتفاع زهکش (m)	محل زهکش (نقطه d)	دبی عبوری از زهکش $m^3 / sec.m$	مقدار سطح تراوش در بالای زهکش (m)	عملکرد زهکش
۱	۱/۵	پایین سطح تراوش	$۲/۶۴ \times ۱۰^{-۵}$	۲۲	بد
۲	۲	پایین سطح تراوش	$۵/۲۵ \times ۱۰^{-۵}$	۷/۱۹	متوسط
۲	۳	پایین سطح تراوش	$۶/۵ \times ۱۰^{-۵}$	۰/۵	خیلی خوب
۲	۳	وسط سطح تراوش	$۲/۳ \times ۱۰^{-۵}$	۰	بد
۲	۳	بالای سطح تراوش	۰	۰	بد

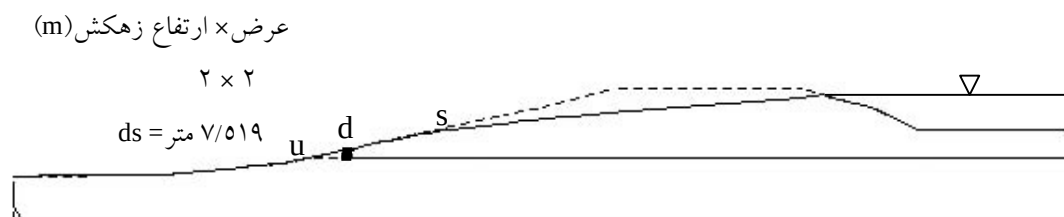
شکل (۶)، (۷)، (۸) تأثیر ابعاد زهکش بر روی کاهش سطح تراوش و دبی عبوری از زهکش تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک را نشان می‌دهد.



شکل (۶) - تأثیر کانال زهکش (عرض ۱ متر و ارتفاع ۱/۵ متر) بر روی کاهش سطح تراوش (مقطع شماره ۱)

شکل (۶) یک کانال زهکش به عرض ۱ متر و ارتفاع ۱/۵ متر را در شیب پایین دست تکیه‌گاه نشان می‌دهد. زهکش مزبور در کاهش سطح تراوش ناموفق بوده و سطح تراوش ایجاد شده در بالای زهکش (ds) حدود ۲۲ متر می‌باشد. دبی عبوری از زهکش در شرایطی که مخزن سد پر است، $۲/۶۴ \times ۱۰^{-۵}$ متر مکعب در واحد عرض محاسبه شده است که این مقدار نسبت به دبی عبوری از تکیه‌گاه ($۷/۰۸ \times ۱۰^{-۵}$) کم می‌باشد.

شکل (۷)، عملکرد یک کانال زهکش به عرض ۲ متر و ارتفاع ۲ متر را بر روی کاهش سطح تراوش شیب پایین دست نشان می‌دهد. دبی عبوری از زهکش $۵/۲۵ \times ۱۰^{-۵}$ متر مکعب در واحد عرض بوده و سطح تراوش ایجاد شده در بالای زهکش، ۷/۵۱۹ متر می‌باشد. عملکرد این زهکش نسبت به زهکش قبلی بسیار مناسب تر بوده زیرا سطح تراوش را بیشتر کاهش داده و دبی عبوری از زهکش بیشتر شده است.



شکل (۷) - تأثیر کانال زهکش (عرض ۲ متر و ارتفاع ۲ متر) بر روی کاهش سطح تراوش (مقطع شماره ۱)

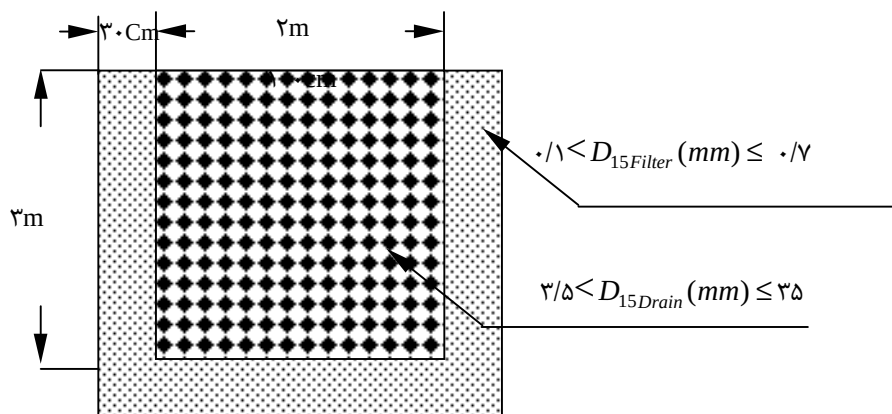
شکل (۸)، عملکرد کانال زهکش دیگری به عرض ۲ متر و ارتفاع ۳ متر را بر روی کاهش سطح تراوش نشان می‌دهد. دبی عبوری از زهکش $6/5 \times 10^{-5}$ متر مکعب در واحد عرض بوده و سطح تراوش ایجاد شده در بالای زهکش، ۰/۵ متر محاسبه شده است. زهکش مزبور در پایین انداختن سطح آب در تکیه‌گاه بسیار موفق بوده و سطح تراوش را به صورت چشمگیری کاهش داده است. دبی عبوری از زهکش تقریباً برابر دبی عبوری از تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک است و این امر نشان می‌دهد که زهکش مزبور در کاهش سطح تراوش عملکرد مناسب داشته است.



شکل (۸) - تأثیر کانال زهکش (عرض ۲ متر و ارتفاع ۳ متر) بر روی کاهش سطح تراوش (مقطع شماره ۱)

مقدار دبی عبوری از زهکش مزبور در شرایطی که مخزن سد پر از آب است، $4/1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ محاسبه گردیده است. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه‌گیری کرد هر چه ابعاد زهکش کوچکتر شود، دبی عبوری از زهکش کاهش یافته و سطح تراوش در شیب پایین دست افزایش می‌یابد. بهترین محل برای اجرای کانال زهکش پایین‌ترین نقطه سطح تراوش می‌باشد.

شکل (۹)، ابعاد و نوع دانه بندی زهکش تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک را نشان می‌دهد.



شکل (۹) مشخصات کانال زهکش تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک

۸- نتایج

۱- برای زهکشی تکیه‌گاه نفوذپذیر سدهای خاکی بهتر است از روش کانال زهکش (پرسیده از مصالح زهکشی) برای زهکشی شیب پایین دست تکیه‌گاه استفاده شود. زهکشهای لوله‌ای بدلیل انسداد توسط ذرات ریز خاک وریشه گیاهان کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲- مقدار کل دبی عبوری از تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک در شرایطی که مخزن سد پر از آب است به کمک نرم افزار MSEP و SEEP2D حدود ۴/۵ لیتر بر ثانیه محاسبه شده است.

۳- مقدار سطح تراوش در شیب پایین دست تکیه‌گاه سد برنجستانک برای مقاطع شماره ۱ و ۲ تکیه‌گاه سد به ترتیب ۱۹/۷۴ و ۲۸ متر محاسبه گردیده است.

- ۴- بهترین محل برای اجرای کانال زهکش، پایین‌ترین نقطه سطح تراوش می‌باشد. هر چه زهکش را بر روی سطح تراوش پایین‌تر قرار دهیم، دبی عبوری از زهکش بیشتر شده و سطح تراوش کاهش می‌یابد.
- ۵- هر چه ابعاد زهکش کوچکتر شود، دبی عبوری از زهکش کاهش یافته و سطح تراوش در شیب پایین دست افزایش می‌یابد.
- ۶- برای کاهش سطح تراوش در شیب پایین دست تکیه‌گاه سدخاکی برنجستانک باید از کانال زهکشی (پُر شده از مصالح زهکشی) به عرض ۲ متر و ارتفاع ۳ متر استفاده شود. در این صورت مقدار دبی عبوری از زهکش در شرایطی که مخزن سد پر است $m^3/s \times 10^{-3} \times 4/1$ می‌باشد که این مقدار تقریباً برابر دبی عبوری از تکیه‌گاه است.
- ۷- خاک تکیه‌گاه سد برنجستانک از نوع رس لای‌دار همراه با ذرات ماسه‌ای با پلاستیسیته متوسط تا زیاد است و از لحاظ طبقه بندی از نوع CH و یا (ML, CH) می‌باشد. برای طراحی فیلتر زهکش از معیارهای شرارد استفاده شده است. با توجه به منحنی دانه‌بندی خاک تکیه‌گاه، معیار $0.1 < D_{15\ filter} \leq 0.7mm$ برای دانه‌بندی فیلتر در نظر گرفته شده است.
- ۸- برای تعیین دانه‌بندی زهکش از معیارهای ترزاقی استفاده شده است. با توجه به دانه‌بندی فیلتر، معیار $3.5mm \leq D_{15\ Drain} < 35mm$ برای دانه‌بندی زهکش در نظر گرفته شده است.
- ۹- مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی زهکش با توجه به دانه‌بندی ارائه شده، در محدود $0.05 \leq K_{15\ Drain} (m/s) < 4$ قرار می‌گیرد.
- ۱۰- ضریب هدایت هیدرولیکی لایه‌های فوقانی تکیه‌گاه سد خاکی برنجستانک نسبت به لایه‌های تحتانی آن بسیار زیاد است. این امر باعث ایجاد سطح تراوش بزرگی بر روی شیب پایین دست تکیه‌گاه در لایه فوقانی شده است. اگر ضریب هدایت هیدرولیکی لایه‌های تحتانی تکیه‌گاه نسبت به لایه‌های فوقانی زیادتر باشد، سطح تراوش در لایه فوقانی کم می‌گردد.

۹-مراجع

- [1] ابوالفضل شمسایی، تورج سبزواری، «بهینه سازی ضخامت فیلتر سدهای خاکی و ارائه روشی برای محاسبه درصد عبور خاک از فیلترها»، کنفرانس بین المللی سازه‌های هیدرولیکی کرمان، اردیبهشت ۱۳۸۰.
- [۲] تورج سبزواری، «زهکشی تکیه‌گاه سدها با استفاده از مدل عددی مناسب»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده عمران، ۱۳۸۰.
- [3] گزارش مربوط به محاسبه تراوش از جسم سد و تپه سمت چپ سد برنجستانک، شرکت مهندسان مشاور آگیر.
- [4] Bonala, M.V.S and *Filtration and Drainage in Geotechnical Geoenvironmental Engineering*, Geo-Institute of the American Society of Civil Engineer, pp.43-67(1998).
- [5] p.175(1967).
- [6] Sherar filters *J. Geotech. Engrg. ASCE*, 110(6) (1984b).
- [7] *J. Geotech. Engrg. Div., ASCE*, Vol 110, No.GT6, pp 684-700(1984)..
- [8] Swihart, J Jay., *Filter and Drainage in Geotechnical and Environmental Engineering*, A.A.BALKEMA /ROTTERDAM/BROOKFIELD, 137-150(2000).
- [9] Reddi, L.N, Xiao Ming, *Jour. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol.126, No.3, pp.236-246.(2000).
- [10] lytical Modeling of Filtration in Granular Media, GEO-Institut of the american society of civil engineer, pp 89-106(1998).